



高等学校“十三五”精品规划教材

建筑力学

主 编 周海龙 李晓丽
主 审 申向东



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学

教材

建筑力学

主 编 周海龙 李晓丽

主 审 申向东



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是按照教育部高等学校力学教学指导委员会 2012 年发布的理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求编写而成,旨在适应普通高等院校复合型、应用型人才培养的需求和实际。本书是内蒙古农业大学、河南城建学院和内蒙古建筑职业技术学院等多所院校的教师在长期从事建筑力学课程教学、科研及工程实践的基础上编写的,反映了几所高校建筑力学课程的教学经验与成果。

本书共分 12 章,主要内容包括:绪论、静力学基础、平面力系的合成与平衡、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、轴向拉伸与压缩、剪切与扭转、梁的弯曲、结构的位移计算、超静定结构的内力计算、影响线及其应用、压杆稳定。为了便于学习,全书各章均附有小结、复习思考题和习题,在书后附录给出了截面的几何性质、型钢表和部分习题答案。

本书可作为高等学校工程管理、园林、城乡规划、建筑学等非结构专业建筑力学课程的教材,也可作为其他专业及相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学 / 周海龙, 李晓丽主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017.7
高等学校“十三五”精品规划教材
ISBN 978-7-5170-5502-0

I. ①建… II. ①周… ②李… III. ①建筑科学—力学—高等学校—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第205146号

书 名	高等学校“十三五”精品规划教材 建筑力学 JIANZHU LIXUE
作 者	主 编 周海龙 李晓丽 主 审 申向东
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 21.25 印张 504 千字
版 次	2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	48.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

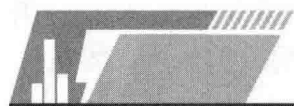
编委会名单

主 编 周海龙 李晓丽

副主编 崔燕伟 王 赞 姚占全

参 编 杜留记 张黎明 裴成霞 杨佳洁

主 审 申向东



前 言

建筑力学是工程管理、园林、城乡规划、建筑学等非结构专业的技术基础课。近年来,随着我国高等院校教育改革的不断深入,培养学生的工程意识与创新能力显得尤为重要,在授课学时有限的情况下,掌握建筑力学的基本原理和分析方法就成为建筑力学课程所面临的根本问题。

建筑力学的内容主要包括理论力学中的静力学、材料力学中的主干内容和结构力学的基本内容。为适应建筑力学的教学需求,本书对这三门课程的基本内容按照力学知识的内在联系进行了融合,在理论上力求简明,并结合建筑结构设计的特点深入浅出地介绍了力学原理在建筑设计中的应用,兼顾了学生自学的需要,同时也保持了力学思想应用于建筑设计中的连贯性,从而达到系统理解与掌握建筑力学基本原理的目的,为后续课程的学习打下良好的力学基础。全书主要讲述了静力学基础,构件的强度、刚度、稳定性问题,静定和超静定结构内力及位移计算,影响线等内容。在编写过程中,注重从认识规律出发,打破三大力学课程之间的壁垒,清除课程之间一些重复内容,弱化一些原理和公式的推导,重点突出基本概念、基本原理和基本方法,促使学生建立起一套完整的建筑力学知识框架体系。

参加本书编写的有内蒙古农业大学周海龙(第5章)、李晓丽(第2、3章)、姚占全(第12章、附录I、附录II)、裴成霞(第8章);河南城建学院崔燕伟(第1、10章)、杜留记(第7章)、张黎明(第6章);内蒙古建筑职业技术学院王赞(第9、11章)、内蒙古工程学校杨佳洁(第4章,附录III)。全书由周海龙、李晓丽担任主编,由崔燕伟、王赞、姚占全担任副主编,最后由周海龙完成统稿和定稿工作。本书由内蒙古农业大学申向东教授担任主审,内蒙古建筑勘察设计院有限责任公司褚隆也为本书的编写提出了很

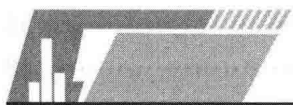
多宝贵意见，在此表示感谢。

本书是内蒙古农业大学 2016 年度立项规划资助的教材，得到了学校教材出版基金的资助，在此致谢。同时，中国水利水电出版社编辑也为本书的编辑与出版提供了帮助，在此表示感谢。

最后编者虽尽全力，反复修改，但限于水平有限，不足之处在所难免，恳请读者朋友批评指正。

编者

2017 年 4 月



目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑力学的研究对象和任务	1
1.2 结构的计算简图	3
1.3 平面杆系结构的分类	6
1.4 荷载的分类	7
1.5 杆件变形的基本形式	7
1.6 刚体、变形固体及其基本假设	8
本章小结	9
第 2 章 静力学基础	11
2.1 力、力矩、力偶	11
2.2 约束与约束力	13
2.3 静力学公理	17
2.4 物体的受力分析	20
本章小结	23
思考题	24
习题	25
第 3 章 平面力系的合成与平衡	27
3.1 平面汇交力系的合成与平衡	27
3.2 平面力偶系的合成与平衡	30
3.3 平面任意力系向作用面内一点的简化	32
3.4 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	35
3.5 平面平行力系的合成与平衡	37
3.6 物体系统的平衡	39
3.7 考虑摩擦的平衡	41
本章小结	47
思考题	48
习题	49

第4章 平面体系的几何组成分析	54
4.1 几何组成分析的目的	54
4.2 几何组成分析的基本概念	54
4.3 平面体系的计算自由度	56
4.4 平面几何不变体系的组成规则	58
4.5 几何组成分析的方法及示例	60
4.6 体系的几何组成与静力特性	61
本章小结	62
思考题	62
习题	63
第5章 静定结构的内力计算	65
5.1 截面法求内力	65
5.2 内力方程和内力图	69
5.3 多跨静定梁	81
5.4 静定平面刚架	84
5.5 三铰拱	92
5.6 静定平面桁架	101
5.7 静定组合结构	109
5.8 静定结构的静力特性	112
本章小结	114
思考题	115
习题	116
第6章 轴向拉伸与压缩	122
6.1 轴向拉伸与压缩的概念	122
6.2 轴向拉伸与压缩横截面上的应力	122
6.3 轴向拉伸或压缩时的变形	126
6.4 拉伸或压缩时材料的力学性能	130
6.5 许用应力及强度条件	135
6.6 应力集中的概念	137
本章小结	138
思考题	139
习题	139
第7章 剪切与扭转	142
7.1 剪切的的概念	142
7.2 连接接头的强度计算	143
7.3 扭转的概念	148
7.4 扭矩及扭矩图	149

7.5 圆轴扭转时的应力与强度条件	152
7.6 圆轴扭转时的变形与刚度条件	156
本章小结	158
思考题	158
习题	159
第8章 梁的弯曲	161
8.1 平面弯曲的概念	161
8.2 梁横截面上的应力与强度条件	162
8.3 梁的弯曲变形与刚度条件	172
8.4 提高梁抗弯能力的措施	177
本章小结	178
思考题	178
习题	179
第9章 结构的位移计算	181
9.1 概述	181
9.2 变形体的虚功原理	182
9.3 结构位移计算的一般公式	184
9.4 静定结构在荷载作用下的位移计算公式	186
9.5 图乘法计算梁和刚架的位移	189
9.6 静定结构在非荷载因素作用下的位移计算	195
9.7 线弹性结构的互等定理	198
本章小结	201
思考题	202
习题	202
第10章 超静定结构的内力计算	205
10.1 超静定结构概述	205
10.2 力法的基本原理	205
10.3 位移法的基本原理	225
10.4 力矩分配法的基本原理	239
10.5 超静定结构的基本特性	248
本章小结	248
思考题	249
习题	251
第11章 影响线及其应用	254
11.1 影响线的概念	254
11.2 用静力法作简支梁的影响线	255

11.3 用机动法作简支梁的影响线	260
11.4 影响线的应用	261
11.5 简支梁的绝对最大弯矩和内力包络图	266
11.6 连续梁的影响线和内力包络图	269
本章小结	273
思考题	274
习题	274
第 12 章 压杆稳定	276
12.1 压杆稳定的概念	276
12.2 细长压杆的临界力	277
12.3 压杆的临界应力	279
12.4 压杆的稳定计算	282
12.5 提高压杆稳定性的措施	285
本章小结	286
思考题	286
习题	287
附录 I 截面的几何性质	289
I.1 静矩和形心	289
I.2 惯性矩和惯性积	291
I.3 平行移轴公式	295
I.4 转轴公式、主惯性轴和主惯性矩	298
小结	300
思考题	301
习题	301
附录 II 型钢表	303
附录 III 部分习题参考答案	319
参考文献	328

第 1 章 绪 论

1.1 建筑力学的研究对象和任务

建筑的主要作用是提供一个内部或外部的空间，建筑结构是使这一空间得以实现的重要保证。建筑结构的主要作用是承受荷载和传递荷载，合理的建筑结构设计应当是在满足安全性的基础上，最大限度地节省材料。建筑力学是研究各种建筑结构或构件在荷载作用下的平衡条件以及承载能力的科学。

1.1.1 建筑力学的研究对象

建筑力学的研究对象是各种各样的建筑物和构筑物。

建筑物中承受荷载而起骨架作用的部分称为**结构**，组成结构的每一个部分称为**构件**。结构和构件承受的荷载有其自重、风荷载、人群荷载、雪荷载、吊车压力等，同时，还承受其他因素的影响，如温度变化、支座沉降、地震作用等。

建筑结构由水平构件、竖向构件和基础组成。水平构件包括梁、板等，用以承受竖向荷载；竖向构件包括柱、墙等，其作用是支撑水平构件或承受水平荷载；基础的作用是将建筑物承受的荷载传至地基。人们在日常生活中常见桥梁的桥墩、桥跨、水坝也属于结构。有了结构，建筑物与构筑物就可以抵抗自然界与人为的各种作用。因此，结构必须是安全的。

图 1-1 为多层民用建筑结构，其一般由楼板、梁、柱、基础等构件组成。图 1-2 为单层工业厂房，其结构一般由屋面板、连系梁、屋架、吊车梁、柱、基础等构件组成。

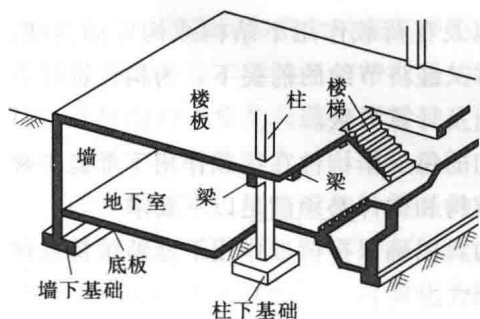


图 1-1 多层民用建筑结构

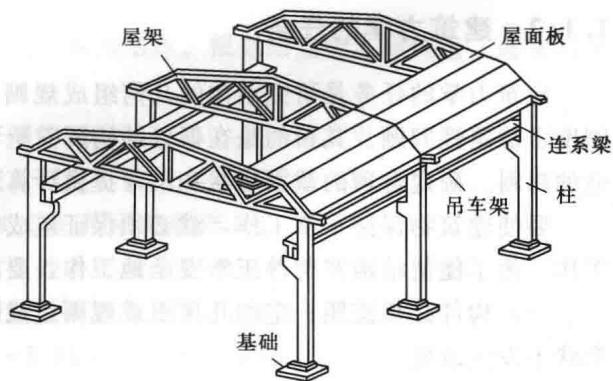


图 1-2 单层工业厂房

结构的类型很多，按照结构构件的形状和几何尺寸，可以将结构分为杆系结构、板壳结构和实体结构三类。



杆系结构是由若干根杆件相互连接而成。杆件的几何特征是细而长的长条形，长度远大于其他两个尺度（横截面的长度和宽度）。杆又可分为直杆和曲杆，如图1-3（a）所示。

板壳结构又称薄壁结构，是指其厚度远小于其他两个尺度（长度和宽度），薄壁结构的几何特征是宽而薄。中面为平面形状的称为板，中面为曲面形状称为壳，如图1-3（b）所示。

实体结构是指长、宽、高3个尺度大体相近，内部大多为实体，如图1-3（c）所示的挡土墙。

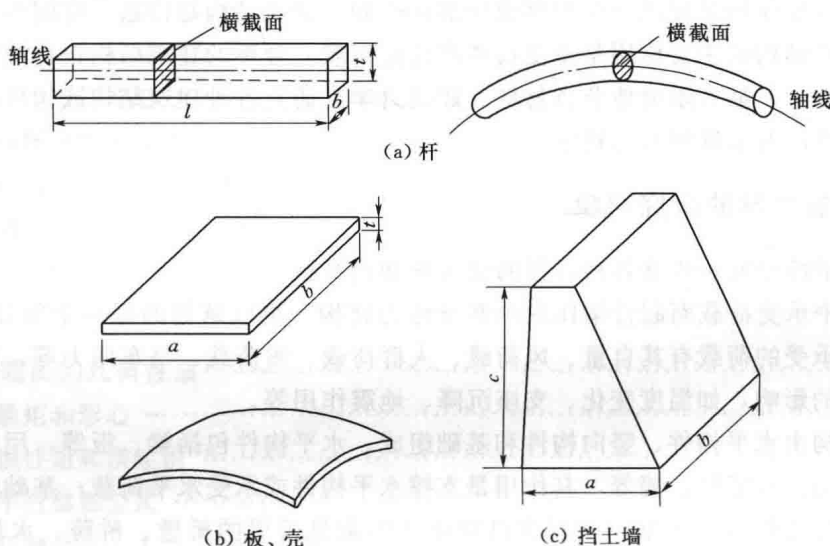


图1-3 结构的分类

上述三类结构中，建筑力学的研究对象主要是杆系结构，而板壳结构和实体结构则由弹性力学来研究。

1.1.2 建筑力学的任务

建筑力学的任务是研究结构的几何组成规则，以及在荷载作用下结构或构件的强度、刚度、稳定性问题。其目的是在保证结构既安全可靠又经济节约的前提下，为构件选择合适的材料、确定合理的截面形状和尺寸提供计算理论及计算方法。

要使建筑物保持正常工作，就必须保证组成它们的每一个构件在荷载作用下都能正常工作。为了能使结构和构件正常安全地工作，要求结构和构件必须满足以下要求：

（1）构件必须按照一定的几何组成规则组成结构，以确保在荷载作用下能够维持几何形状不发生改变。

（2）必须满足强度要求。**强度**是构件抵抗破坏的能力。在使用期内，务必使构件安全可靠，不发生破坏，具有足够的承载能力。

（3）必须满足刚度要求。**刚度**是结构或构件抵抗变形的能力。在使用期内，务必使结构或构件不发生影响正常使用的变形。



(4) 必须满足稳定性要求。稳定性是结构或构件保持原有平衡形态的能力。在使用期内, 务必使结构或构件平衡形态保持稳定。

从古代的洞穴建筑到现代的高层、超高层建筑, 经历了成百上千年的演变, 从中人们不断地积累了丰富的实际经验和理论方法, 这种经验和理论方法可以指导我们能够在以后的土木建筑中更好、更快、更安全的发展。建筑力学就是人们从实际经验中提炼出来, 又可以指导人们日常工作的一门理论基础科学, 可以说, 建筑力学是建筑工程中最基础, 最具理论指导意义的科学, 为后续课程的开展提供了必需的理论基础知识。

1.2 结构的计算简图

1.2.1 结构的计算简图

结构的计算简图是指在结构计算中, 用以代替实际结构, 并反映实际结构主要受力和变形特点的计算模型。其简化原则为略去次要因素, 便于分析和计算, 尽可能反映实际结构的主要受力特征。

1.2.2 结构简化的内容

1. 结构体系的简化

一般结构实际上都是空间结构, 各部分相互连接成为一个空间整体, 以承受各个方向可能出现的荷载。但多数情况下, 常常可以忽略一些次要的空间约束而将实际结构分解为平面结构, 使计算得以简化。本书主要讨论平面结构的计算问题。

2. 杆件的简化

用杆轴线代替杆件。如梁、柱等构件的纵轴线为直线, 就用相应的直线表示; 拱、曲杆等构件的纵轴线为曲线, 则用相应的曲线来表示。

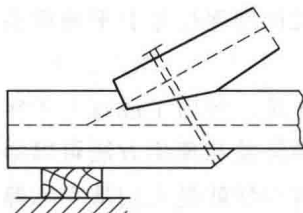
3. 结点的简化

结构中两个或两个以上的杆件共同连接处称为结点。根据结点的实际构造, 通常简化为铰结点、刚结点和组合结点三种类型。

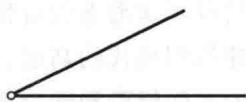
(1) 铰结点。铰结点的特征是约束杆端的相对线位移, 但铰结点处各杆端可以相对转动, 各杆间的夹角受荷载作用后发生改变, 因此, 铰结点不能承受和传递力矩。如图1-4(a)为一木屋架端结点, 可简化为图1-4(b)所示简化形式。

(2) 刚结点。刚结点的特征是约束结点处各杆端的相对线位移和相对转角, 各杆间的夹角受荷载作用前后保持不变, 因此, 刚结点可以承受和传递力矩。如图1-5(a)为一现浇钢筋混凝土梁柱结点, 可简化为图1-5(b)所示简化形式。

(3) 组合结点。若在同一结点处, 某些杆间相互刚接, 而另一些杆间相互铰接, 则称为组合结点。例如, 在图1-6中E结点则为组合结点。组合结点E由FE、DE、BE三杆在该结点相连, 其中FE和BE两杆是刚性连接, DE杆与FE、BE杆则由铰连接。组合结点处的铰又称为不完全铰。

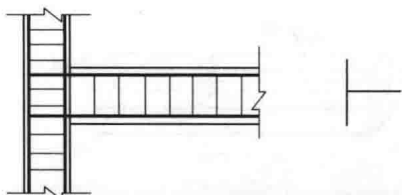


(a) 木屋架端结点构造图



(b) 铰结点计算简图

图 1-4 木屋架结点

(a) 现浇钢筋混凝土
土结点构造图

(b) 刚结点计算简图

图 1-5 现浇钢筋混凝土结点

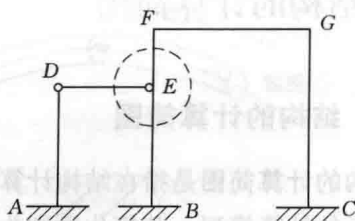
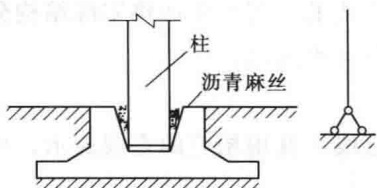


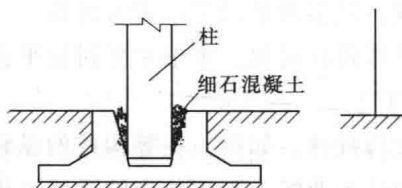
图 1-6 组合结点示例

4. 支座的简化

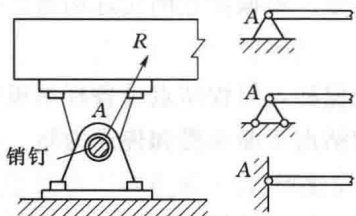
结构与基础相连接起来的装置称为支座，可分为固定铰支座 [图 1-7 (a) 和图 1-7 (b)]、活动铰支座 [图 1-7 (d)]、固定支座 [图 1-7 (c)]、定向支座 [图 1-7 (e)] 四种类型。



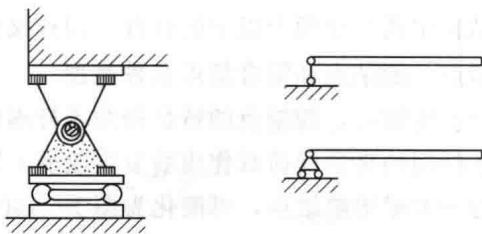
(a) 柱下固定铰支座构造及计算简图



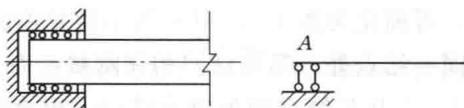
(c) 固定支座构造及计算简图



(b) 梁端固定铰支座构造及计算简图



(d) 活动铰支座构造及计算简图



(e) 定向支座构造及计算简图

图 1-7 支座类型及其简化



1.2.3 示例

【例 1-1】 图 1-8 (a) 所示为钢筋混凝土单层厂房结构，梁与柱都是预制的。柱子下端插入基础的杯口内，然后用细石混凝土填实。屋架与柱是通过梁端和柱顶的预埋钢板进行焊接连接。在横向平面内柱与屋架组成排架。在每个排架之间，在屋架上有屋面板连接，在柱的牛腿上有吊车梁连接。试确定其计算简图。

解：(1) 结构体系的简化。从整体上看，该厂房是一个空间结构。但从其荷载传递来看，屋面荷载和吊车轮压都主要通过屋面板和吊车梁等构件传递到一个个的横向排架上，故在选择计算简图时，可以略去排架之间纵向联系的作用，而把这样的空间结构简化为一系列的平面排架来分析，如图 1-8 (b) 所示。

(2) 屋架的计算简图。屋架承受屋面板传来的竖向荷载的作用，荷载大小按柱间中线之间所围的面积计算。屋架的计算简图如图 1-8 (c) 所示。这里采用了以下的简化：

- 1) 屋架杆件用其轴线表示。
- 2) 屋架杆件之间的连接简化为铰结点。
- 3) 屋架的两端通过预埋件与柱顶焊接，可简化为一个固定铰支座和一个活动铰支座。
- 4) 屋架荷载通过屋面板的四个角点以集中力的形式作用在屋架的上弦杆上。

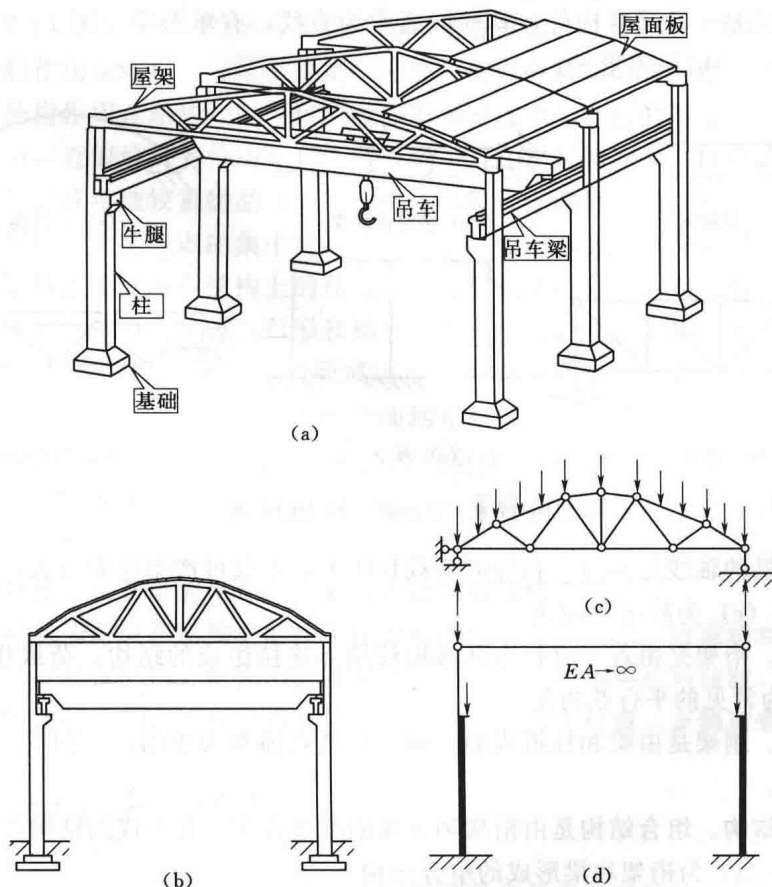


图 1-8 钢筋混凝土厂房结构及其计算简图



(3) 排架的计算简图。竖向荷载作用下,排架柱的计算简图如图 1-8 (d) 所示。这里采用了以下的简化:

1) 柱用其轴线表示。由于上下两段柱的截面大小不同,因此,应分别用一条通过各自截面形心的连线来表示。

2) 屋架以一链杆代替。由于屋架的刚度很大,相应变形很小,因此,认为两柱顶之间的距离在受荷载前后没有变化,即可用 $EA=\infty$ 的一根链杆代替该屋架。

3) 柱插入基础后,用细石混凝土填实,柱基础视为固定支座。

4) 排架柱除承受屋架传来的压力外,还承受牛腿上吊车梁传来的吊车荷载作用。

在建筑力学中,以计算简图作为力学计算的主要对象。

1.3 平面杆系结构的分类

由 1.2 节可知,建筑力学研究的对象并不是实际的建筑结构,而是代表实际结构的计算简图。因此,结构的分类,也就是指按计算简图的分类。按照空间特征,杆系结构可分为平面杆系结构和空间杆系结构。本书仅研究和讨论平面杆系结构,其常见的形式有下列几种。

(1) 梁。梁是一种受弯构件,其轴线通常为直线,有单跨梁 [图 1-9 (a)] 和多跨连续梁 [图 1-9 (b)] 等形式。

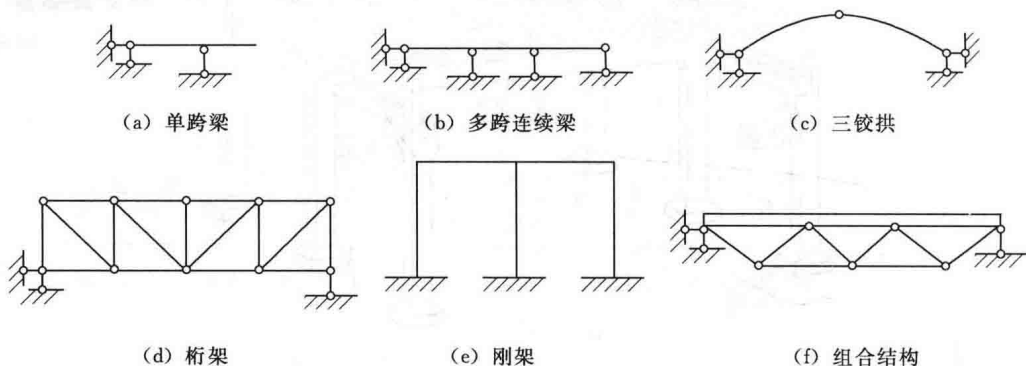


图 1-9 平面杆系结构的分类

(2) 拱。拱的轴线是曲线,在竖向荷载作用下,不仅可产生竖向反力,还会产生水平反力。图 1-9 (c) 为静定三铰拱。

(3) 桁架。桁架是由若干直杆在两端用铰结点连接组成的结构,荷载作用于结点上。图 1-9 (d) 为常见的平行弦桁架。

(4) 刚架。刚架是由梁和柱组成的结构,其结点通常为刚结点。图 1-9 (e) 为单层双跨门型刚架。

(5) 组合结构。组合结构是由桁架和梁或刚架组合在一起形成的结构,其中含有组合结点。图 1-9 (f) 为桁架和梁形成的组合结构。

上述几种结构都是实际结构的计算简图,以后将分别进行分析。



1.4 荷载的分类

建筑物在施工过程及建成后的使用过程中,均受到各种各样的作用,使建筑物整体或局部发生变形、位移甚至破坏。工程中,对引起建筑物变形、位移甚至破坏的作用均称为荷载。工程中,作用在结构上的荷载是多种多样的,可从不同的角度进行分类。

(1) 按荷载作用时间的长短,可分为**恒载**和**活载**。

恒载是指永久作用在结构上不变的荷载,即在结构建成以后,其大小和位置都不再发生变化。如结构的自重、土压力、固定于结构上的设备重量等。

活载是指在施工和建成后使用期间可能作用在结构上的可变荷载。如风荷载、雪荷载、人群、移动的汽车和吊车荷载等。

(2) 按荷载作用在结构上的性质,可分为**静载**和**动载**。

静载是指荷载的大小、方向和位置不随时间发生变化或变化非常缓慢,不使结构产生显著的加速度,从而可以忽略惯性力的影响。如结构自重、住宅与办公楼的楼面活荷载、雪荷载等。

动载是指荷载随时间迅速变化或在短时间内突然作用或消失,使结构产生显著的加速度,不能忽略惯性力的影响。如地震作用、吊车设备振动、高空坠物冲击作用等。

(3) 按荷载作用在结构上的分布情况,可分为**集中荷载**和**分布荷载**。

集中荷载是指作用在结构上的荷载,当作用面积远小于结构的尺寸时,则可认为此荷载分布范围很小,近似地认为作用在一点的荷载。当在建筑物原有的楼面或屋面承受一定重量的柱子,放置或悬挂较重物品(如洗衣机、冰箱、空调机、吊灯等)时,其作用面积很小,可简化为作用于某一点的集中荷载。其单位一般用 N 或 kN 来表示。

分布荷载是指连续分布在结构上的荷载。分布荷载又可分为均布荷载(面均布荷载和线均布荷载)和非均布荷载(如三角形和梯形分布等)。沿平面或曲面分布的荷载称为面均布荷载(单位: kN/m^2),建筑物楼面或墙面上分布的荷载,如铺设的木地板、地砖、花岗石、大理石面层等重量引起的荷载即为面均布荷载;沿直线或曲线分布的荷载称为线均布荷载(单位为 kN/m),建筑物原有的楼面或层面上的各种面荷载传到梁上或条形基础上时可简化为单位长度上的分布荷载即为线均布荷载。荷载连续作用,但大小各处不相同,称为非均布荷载。

(4) 按荷载作用位置是否变化,可分为**固定荷载**和**移动荷载**。

固定荷载可认为荷载在结构上的作用位置是固定的,如恒载、雪荷载和风荷载等。

移动荷载指荷载在结构上的作用位置是移动的,最典型的是行列荷载,即一系列相互平行、彼此间距保持不变且能在结构上移动的荷载,如吊车荷载、车辆荷载等。

1.5 杆件变形的基本形式

工程中的杆件所受的外力是多种多样的,其变形也是多种多样的,而杆件的基本变形形式只有以下四种。